

# NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP CỌC XI MĂNG ĐẤT TRONG GIA CỐ NỀN ĐẤT YẾU

## RESEARCH ON THE APPLICATION OF SOILCRETE FOR WEAK GROUND UNPROVEMENT

Lý Duyên Lộc

Học viên cao học, Khoa Xây Dựng, Trường Sư Phạm Kỹ Thuật Tp.HCM  
Email: locdaitingl@gmail.com

Trần Văn Tiếng, Phan Nhật Quang, Lý Duyên Lộc

Email: locdaitingl@gmail.com

Điện thoại: 0986.745.908

### TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu về việc ứng dụng, thiết kế tính toán và kiểm tra độ lún, độ ổn định nền đất yếu được gia cố bằng cọc xi măng đất thi công theo công nghệ Nhật Bản (Jet Grouting), quá trình kiểm tra được mô phỏng tính toán bằng phần mềm Plaxis 3D, cung cấp thêm các thông số về ứng xử của nền đất sau gia cố và điều chỉnh thiết kế cho phù hợp. Quá trình đánh giá dựa trên công trình thực tế tại tuyến đường Hồ Chí Minh đoạn La Sơn-Túy Loan (km0+00 - km80+00m) tại nút giao (cầu vượt) Hòa Liên, thành phố Đà Nẵng. Từ đó, đánh giá ưu nhược điểm và đưa ra phương án thiết kế cọc xi măng đất tối ưu thi công theo công nghệ Nhật Bản.

Kết quả nghiên cứu cho thấy sử dụng cọc xi măng đất thi công theo công nghệ Nhật Bản để xử lý đất yếu bên dưới nền đường thỏa mãn độ lún cho phép và đáp ứng yêu cầu thiết kế. Điều này cho thấy khả năng ứng dụng của cọc xi măng đất trong gia cố nền đất yếu tại nhiều khu vực ở nước ta.

### ABSTRACT

The subject on the application and calculation design and the testing settlement, stability of the weak ground reinforced by the cement column based Japanese technology (Jet Grouting). The process of testing is simulated and calculated by Plaxis 3D software, and provides additional parameters on the behavior of the ground after reinforcement and appropriate adjustment the design. The evaluation process is based on the actual construction of the Ho Chi Minh route in La Son-Tuy Loan segment (km0+00 - km80+00m) at the Hoa Lien intersection (overpass), Da Nang city. From that point, the study also evaluates the advantages and disadvantages and proposes the optimal design of cement column used Japanese technology.

The result of the study shows that the use of cement column based Japanese technology to handle weak soil under the roadbed satisfies the allowed settlement and meets design requirements. This proves the applicability of cement column for weak ground reinforcement in many areas in Vietnam.

#### TS. Trần Văn Tiếng

Giảng viên, Khoa Cơ học đất, Trường Sư Phạm Kỹ Thuật Tp.HCM

Email: tiengtv@hcmute.edu.vn

Điện thoại: 0906 792 527

#### Ks. Lý Duyên Lộc

Học viên cao học, Khoa Xây Dựng, Trường Sư Phạm Kỹ Thuật Tp.HCM

### 1. Giới thiệu

Cọc xi măng đất được nghiên cứu và phát triển đầu tiên tại Thụy Điển và Nhật Bản từ những năm 1960. Hiện nay công nghệ cọc xi măng-đất được phổ biến trên toàn thế giới và ứng dụng nhiều nhất ở Nhật Bản và các nước Bắc Âu. Công nghệ thi công cũng đã phát triển hoàn thiện trộn sâu, trộn tổ hợp có phun tia và trộn bề mặt.

Ở Việt Nam, những nghiên cứu được manh nha từ những năm 1980, nhưng số lượng công trình áp dụng công nghệ cọc xi măng-đất đến nay là rất khiêm tốn. Trong giai đoạn hiện nay, việc hoàn thiện lý thuyết tính toán và thực nghiệm để áp dụng rộng rãi sẽ đem lại hiệu quả rất lớn trong công nghệ xử lý nền móng nói riêng và sự phát triển ngành xây dựng nói chung ở nước ta.

So với các giải pháp nền hiện có, công nghệ cọc xi măng-đất có khả năng xử lý sâu đến 50m, thích hợp với các loại đất yếu (từ cát thô cho đến bùn yếu), thi công được trong điều kiện nền ngập sâu trong nước hay điều kiện hiện trường chật hẹp, nhiều trường hợp đã đem lại hiệu quả kinh tế rõ rệt so với các giải pháp xử lý nền khác.

Ở Việt Nam hiện nay dùng hai công nghệ thi công cọc xi măng đất là công nghệ trộn khô (Dry Jet Mixing) và công nghệ trộn ướt (Wet Mixing hay Jet-Grouting) - là công nghệ của Nhật Bản. Mỗi công nghệ sẽ có thiết bị và dây chuyền thi công phù hợp khác nhau.

### 2. Cơ sở lý thuyết

#### 2.1. Các quan điểm tính toán

Hiện nay, vấn đề tính sức chịu tải và biến dạng của nền đất gia cố bằng cọc đất xi măng vẫn còn là vấn đề tranh luận nhiều. Nhưng tựu chung, có 3 quan điểm chính như sau:

1. Quan điểm cọc đất trộn xi măng làm việc như cọc (tính toán như móng cọc).
2. Quan điểm xem cọc và đất cùng làm việc đồng thời (tính toán như đối với nền thiên nhiên).
3. Quan điểm của viện kỹ thuật Châu Á (AIT): Đề nghị tính toán theo cả hai quan điểm trên nghĩa là sức chịu tải thì tính toán như "cọc", còn biến dạng thì tính toán theo nền.

Sở dĩ các quan điểm trên chưa hoàn toàn thống nhất bởi vì bản thân vấn đề phức tạp, những nghiên cứu về lý thuyết và thực nghiệm về vấn đề này chưa nhiều.

#### 2.2. Theo quan điểm cọc và đất làm việc đồng thời

##### 2.2.1. Khả năng chịu tải của nền sau khi gia cố

Khả năng chịu tải của nền đất sau gia cố được xác định theo công thức 1 và 2 (theo 22 TCN 244-98 và TCN 262-2000):

$$q_{ult} = \frac{\pi+2}{F_s} c_{tb} \text{ khi } \frac{B}{H_y} \leq 1,49 \quad (1)$$

$$q_{ult} = \frac{N_c}{F_s} c_{tb} \text{ khi } \frac{B}{H_y} > 1,49 \quad (2)$$

Trong đó,  $q_{ult}$  (kN/m<sup>2</sup>) là khả năng chịu tải tối đa của đất yếu sau khi gia cố,  $B$  (m) là bề rộng nền đường,  $H_y$  (m) là chiều dày lớp đất yếu,  $N_c$  là hệ số sức chịu tải tra toán đồ,  $F_s$  là hệ số an toàn,  $F_s = 1,05-1,1$  (theo 22 TCN 244-98) trong thi công,  $F_s \geq 1,5$  trong khai thác [2].

Sức chống cắt của nền tương đương được quy đổi như công thức 3 (theo TCVN 9403: 2012 [1]):

$$c_{tb} = as \times c_{us} + (1-as)c_{uc} \quad (3)$$

Trong đó,  $c_{tb}$  (kN/m<sup>2</sup>) là sức chống cắt không thoát nước của nền quy đổi tương đương,  $c_{us}$  (kN/m<sup>2</sup>) là sức chống cắt không thoát nước của đất trộn xi măng,  $c_{uc}$  (kN/m<sup>2</sup>) là sức chống cắt không thoát nước của đất yếu nguyên dạng xác định thông qua thí nghiệm nén nở hông tự do hoặc nén ba trục,  $as$  là tỉ số thay thế được xác định theo công thức 4 hoặc 5 [3] và thể hiện trên Hình 2.1.

$$as = \frac{\pi \times D^2}{4 \times S^2} \text{ bố trí theo lưới ô vuông} \quad (4)$$

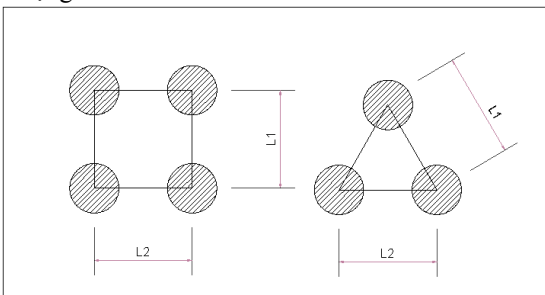
$$as = \frac{\pi \times D^2}{\sqrt{3} \times S^2} \text{ bố trí theo lưới tam giác} \quad (5)$$

Tương tự, góc ma sát trong  $\phi_{tb}$  và môđun đàn hồi  $E_{tb}$  của nền tương đương cũng được xác định theo công thức 6 và 7:

$$\phi_{tb} = as \times \phi_{us} + (1-as)\phi_{uc} \quad (6)$$

$$E_{tb} = as \times E_{us} + (1-as)E_{uc} \quad (7)$$

Trong đó,  $\phi_{tb}$  (độ) và  $E_{tb}$  (kN/m<sup>2</sup>) là góc ma sát và môđun đàn hồi của nền quy đổi tương đương,  $\phi_{us}$  (độ) và  $E_{us}$  (kN/m<sup>2</sup>) là góc ma sát và môđun đàn hồi của đất trộn xi măng,  $\phi_{uc}$  (độ) và  $E_{uc}$  (kN/m<sup>2</sup>) là góc ma sát và môđun đàn hồi của đất yếu nguyên dạng.



Hình 2.1. Sơ đồ bố trí cọc xi măng đất.

Trong đó,  $D$  (m) là đường kính cọc soilcrete,  $S$  (m) là khoảng cách từ tim đến tim hai cọc.

Tổng tải trọng tác dụng lên đất yếu gia cố  $q_0$  phải thỏa mãn công thức 8:

$$q_0 = H_e \times \gamma_e + q_s \leq q_{ult} \quad (8)$$

Trong đó,  $q_s$  (kN/m<sup>2</sup>) là tải trọng tương đương của hoạt tải thiết kế,  $H_e$  (m) là chiều cao nền đường,  $\gamma_e$  (kN/m<sup>3</sup>) là dung trọng trung bình đất đắp nền đường.

## 2.2.2. Khả năng chịu tải của nền đất bên dưới khối gia cố

Khả năng chịu tải tối đa của đất bên dưới phần gia cố được xác định theo công thức 9:

$$q_{ult} = \left[ c' N_c + q \times N_q + \frac{1}{2} \gamma \times B_r \times N_\gamma \right] \quad (9)$$

Trong đó,  $c'$  (kN/m<sup>2</sup>) là lực dính có hiệu của nền đất bên dưới vùng gia cố;  $\gamma$  (kN/m<sup>3</sup>) là trọng lượng riêng của lớp đất xung quanh vùng gia cố;  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  là các hệ số khả năng chịu tải theo lý thuyết của Terashi (được tra từ Bảng 16.1, Das 2006);  $q$  (kN/m<sup>2</sup>) là tải trọng bản thân đất đến đáy của vùng gia cố có bề dày  $H_r$  tính theo công thức 10:

$$q = \gamma \times H_r \quad (10)$$

Để đảm bảo khả năng chịu tải thì tổng áp lực nền đắp  $q_0$  phải nhỏ hơn khả năng chịu tải cho phép  $q_{all}$  và thỏa mãn công thức 11:

$$q_0 \leq q_{all} = \frac{q_{ult}}{3} \quad (11)$$

Trong đó,  $F_s$  là hệ số an toàn lấy bằng 3 trong mọi trường hợp [4].

## 2.2.3. Độ lún của nền đất sau gia cố

Vì nền đất và cọc làm việc đồng thời với nhau nên độ lún tổng thể  $S$  của nền thiết kế sẽ bằng độ lún của phần gia cố  $S_r$  và độ lún cố kết của nền đất bên dưới khối gia cố  $S_c$  như công thức 12 [1].

$$S = S_r + S_c \quad (12)$$

Biến dạng lúc phá hoại của cọc đất xi măng thi công bằng Jet Grouting là từ 1-3% [1], [3]. Độ cứng của khối gia cố bằng Jet Grouting gấp 10-100 lần đất yếu xung quanh nên độ lún trong khối gia cố là rất nhỏ và có thể bỏ qua. Vì vậy, nếu thi công cọc đất trộn xi măng bằng Jet Grouting thì độ lún tổng thể sẽ là độ lún cố kết của đất bên dưới khối gia cố.

Độ lún trong khối gia cố được xác định theo công thức 13 (theo TCVN 9403: 2012 [1]):

$$S_r = \frac{q \times H}{as E_c + (1-as) E_s} \quad (13)$$

Trong đó,  $q$  là tải trọng công trình truyền lên khối gia cố (kN/m<sup>2</sup>),  $H$  là chiều sâu khối gia cố (m),  $as$  là tỉ số thay thế,  $E_c$  là môđun đàn hồi của cọc đất xi măng, kN/m<sup>2</sup>, thường lấy  $E_c = (50-100)c_u$ ;  $E_s$  là môđun đàn hồi của đất nền giữa các trụ (kN/m<sup>2</sup>), thường lấy  $E_s = 250c_u$ .

Độ lún cố kết của nền đất bên dưới khối gia cố được tính theo 2 phương pháp: xem tải trọng truyền theo quy luật tuyến tính và tải trọng truyền theo lý thuyết nền đàn hồi phụ thuộc vào hình dạng tải trọng nền đường [1]. Phân tích lún dựa vào tải trọng phân bố theo lý thuyết nền đàn hồi tuyến tính theo trình tự như sau:

- Tải trọng nền đường sẽ truyền toàn phần đến độ sâu đáy vùng vùng gia cố và có giá trị  $q_1$  xác định theo công thức 14:

$$q_1 = \frac{(B_e + m H_e) H_e \gamma_e}{B_r} \quad (14)$$

Trong đó,  $B_r$  (m) là bề rộng vùng gia cố,  $m$  là hệ số mái dốc nền đường,  $B_e$  (m) là bề rộng nền đường.

- Tải trọng này được giả thiết tác dụng phân bố đều có dạng hình băng trên phạm vi bề rộng gia cố nền  $B_r$  và kéo dài theo chiều dài tuyến đường (giả thiết vô hạn so với bề ngang hay rộng của vùng gia cố).

- Sự phân bố tải trọng ở tim nền sẽ giảm dần theo chiều sâu và được xác định theo công thức 15 và 16:

$$\sigma_z = q_1 I_z \quad (15)$$

$$I_z = \frac{2}{\pi} \left( \frac{\pi}{2} - \arctan \left( \frac{z}{b} \right) + \frac{b \cdot z}{z^2 + b^2} \right) \quad (16)$$

Trong đó, z (m) là chiều sâu đang xét so với đáy vùng gia cố, b = B<sub>r</sub>/2.

- Phân lớp phân tố có bề dày 1 - 2m cho các lớp đất bên dưới phạm vi phân tích lún do  $\sigma_z$  là đường cong. Xác định áp lực do tải ngoài  $\sigma_z$  truyền xuống điểm giữa các lớp này.

- Xác định áp lực bản thân của đất  $\sigma'_{vo}$  ở điểm giữa các lớp phân tố này.

- Chiều sâu tác dụng của tải trọng hay vùng tính lún là vùng từ điểm đặt tải cho tới điểm có ứng suất bản thân bằng 10 lần ứng suất do tải trọng ngoài gây ra, như công thức 17:

$$\sigma'_{voi} = 10 \Delta \sigma'_i \quad (17)$$

- Xác định độ lún cố kết Sc dựa theo công thức 18, 19 hay 20 tùy vào giá trị OCR (tỉ số cố kết):

OCR ≤ 1 là đất cố kết thường hay kém cố kết:

$$S_c = \sum S_{ci} = \sum \frac{H_i}{1 + e_{0i}} \left[ C_{ci} \log \left( \frac{\sigma'_{voi} + \Delta \sigma'_i}{\sigma'_{pi}} \right) \right] \quad (18)$$

OCR > 1 là đất cố kết trước:

Nếu  $\sigma'_{vo} < \sigma'_p < \sigma'_{vo} + \Delta \sigma'$

$$S_c = \sum S_{ci} = \sum \frac{H_i}{1 + e_{0i}} \left[ C_{ri} \log \left( \frac{\sigma'_{pi}}{\sigma'_{voi}} \right) + C_{ci} \log \left( \frac{\sigma'_{voi} + \Delta \sigma'_i}{\sigma'_{pi}} \right) \right] \quad (19)$$

(Nếu  $\sigma'_p > \sigma'_{vo} + \Delta \sigma'$ )

$$S_c = \sum S_{ci} = \sum \frac{H_i}{1 + e_{0i}} \left[ C_{ri} \log \left( \frac{\sigma'_{vo} + \Delta \sigma'_i}{\sigma'_{voi}} \right) \right] \quad (20)$$

Độ lún Sc này phải nhỏ hơn độ lún cho phép quy định trong 22TCN 262-2000.

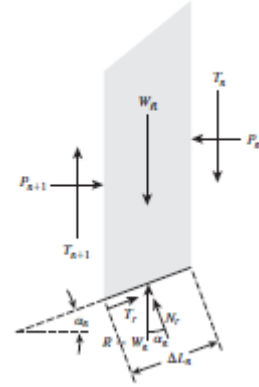
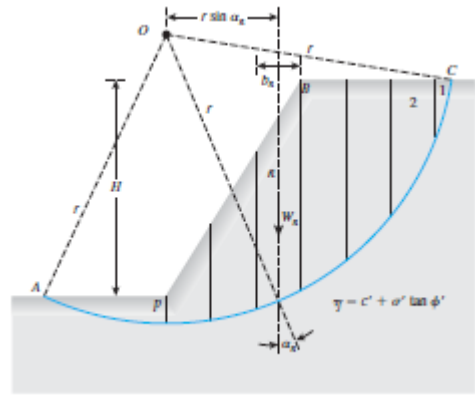
### 2.2.4. Độ ổn định của nền sau gia cố

Nền đường khi thi công cần đảm bảo ổn định trượt sâu. Mặt trượt giả thiết là mặt trượt trụ tròn, hệ số ổn định của nền đường Fs được xác định là tỉ số giữa mômen chống trượt và mômen gây trượt. Khi  $F_s \geq 1,4$  (nếu theo phương pháp Bishop đơn giản) hoặc  $F_s \geq 1,2$  (nếu theo phương pháp Fellenius) thì nền đường mới đạt ổn định. Việc phân tích ổn định được phân tích theo phương pháp Bishop đơn giản như công thức 21 và Hình 2.2 [4]:

$$F_s = \frac{\sum [c' \cdot b_n + (W_n - U_n) \tan \theta'] / m_\alpha}{\sum W_n \cdot \sin \alpha} \quad (21)$$

Trong đó, c' là lực dính có hiệu của lớp đất ở đáy mảnh, Wn là trọng lượng mỗi mảnh, bn là chiều dài mỗi mảnh dọc theo cung trượt, αn là góc nghiêng của đáy mỗi mảnh theo phương ngang, Un là do áp lực nước lỗ rỗng ở đáy mỗi mảnh, mα được xác định theo công thức 23.

$$m_\alpha = \cos \alpha (\sin \alpha \cdot \tan \theta') / F_s \quad (22)$$

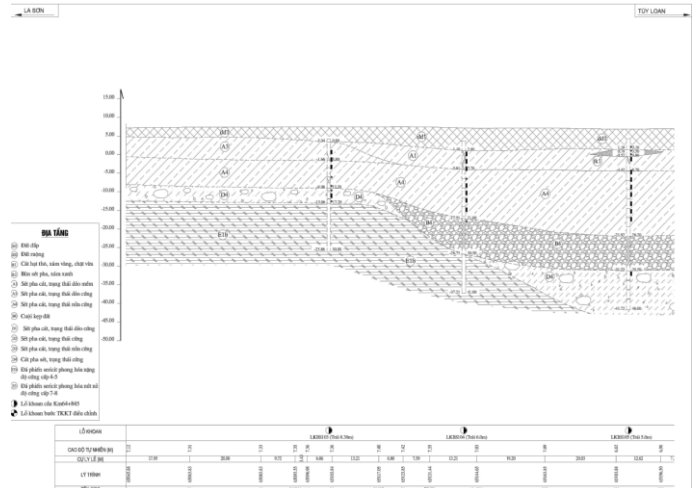


Hình 2.2. Phân tích ổn định trượt sâu nền đường (Bishop [5]).

## 3. Sử dụng phương pháp cọc xi măng đất gia cố công trình cầu vượt Hòa Liên TP Đà Nẵng

### 3.1. Tổng quan về địa chất công trình cầu vượt Hòa Liên.

Công trình nằm trong dự án đường Hồ Chí Minh đoạn Huế - Đà Nẵng với quy mô đường cao tốc. Cầu vượt Hoà Liên, tải trọng thiết kế H30. Được thiết kế như sau: gồm 02 móng và 05 trụ, 5 nhịp. Tính toán bề rộng nền gia cố kích thước 14,6m. Chiều dài xây dựng cầu vượt là L<sub>cầu</sub>=238,1 m (cả đường dẫn vào cầu), lý trình km65+348,81 - km65+547,86m.



Hình 3.1. Mặt cắt địa chất công trình

Bảng 3. 1. Tổng hợp kết quả thống kê địa chất

| TT | Các đặc trưng                       | Ký hiệu      | Đơn vị             | Lớp A1- Sét pha cát, màu xám xanh, trạng thái dẻo mềm | Lớp A3- Sét pha cát màu xám vàng, trạng thái dẻo cứng | Lớp A4-Sét pha cát lẫn dăm sạn, màu xám vàng, trạng thái nửa cứng |
|----|-------------------------------------|--------------|--------------------|---|---|---|
| 1  | - Hạt sỏi sạn                       | P            | %                  | 0,18  |   | 9,54  |
|    | - Hạt cát                           |              | %                  | 51,91   | 54,85   | 52,50   |
|    | - Hạt bụi                           |              | %                  | 25,23   | 24,39   | 19,39   |
|    | - Hạt sét                           |              | %                  | 22,69   | 19,71   | 18,57   |
| 2  | Môđun độ cứng                       | E            | kN/m <sup>2</sup>  | 3.102   | 6.601   | 12.730  |
| 3  | Độ ẩm tự nhiên                      | W            | %                  | 34,26   | 28,31   | 23,77   |
| 4  | Dung trọng tự nhiên                 | $\gamma_w$   | g/cm <sup>3</sup>  | 1,791   | 1,845   | 1,893   |
| 6  | Khối lượng riêng                    | $\Delta$     | g/cm <sup>3</sup>  | 2,694   | 2,691   | 2,692   |
| 7  | Giới hạn dẻo                        | $W_p$        | %                  | 24,99   | 23,75   | 21,90   |
| 8  | Dung trọng tự nhiên khô, $\gamma_c$ | $\gamma_c$   | g/cm <sup>3</sup>  | 1,334   | 1,438   | 1,530   |
| 9  | Chỉ số dẻo                          | $W_n$        | %                  | 13,28   | 12,45   | 11,87   |
| 10 | Độ sệt                              | B            |                    | 0,70  | 0,37  | 0,16  |
| 11 | Độ bão hòa                          | G            | %                  | 90,58   | 87,38   | 84,20   |
| 12 | Độ rỗng                             | n            | %                  | 50,48   | 46,57   | 43,17   |
| 13 | Hệ số rỗng tự nhiên                 | $\epsilon_0$ |                    | 1,019   | 0,872   | 0,760   |
| 14 | Góc ma sát tự nhiên                 | $\phi_m$     | Độ                 | 12°24'  | 18°18'  | 23°24'  |
| 15 | Lực dính kết tự nhiên               | $C_m$        | kg/cm <sup>2</sup> | 0,114   | 0,190   | 0,238   |

| TT | Các đặc trưng    | Ký hiệu   | Đơn vị              | Lớp A1- Sét pha cát, màu xám xanh, trạng thái dẻo mềm | Lớp A3- Sét pha cát màu xám vàng, trạng thái dẻo cứng | Lớp A4-Sét pha cát lẫn dăm sạn, màu xám vàng, trạng thái nửa cứng |
|----|------------------|-----------|---------------------|---|---|---|
| 16 | Hệ số nén        | $a_{1-2}$ | cm <sup>2</sup> /kg | 0,053   | 0,039   | 0,024   |
| 17 | Ứng suất quy ước | R'        | kg/cm <sup>2</sup>  | <1,0  | 1,30  | 2,60  |

**3.2. Xây dựng mô hình phân tích lún nền đất yếu bằng phần mềm Plaxis 3D (10 phương án)**

Bảng 3.2. Thông số thiết kế cọc xi măng đất 10 phương án

| Phương án                         | Đơn vị            | P. Áp theo công trình thi công thực tế | P. Áp 1       | P. Áp 2         | P. Áp 3         | P. Áp 4         | P. Áp 5         | P. Áp 6       | P. Áp 7       | P. Áp 8       | P. Áp 9       | P. Áp 10      |
|-----------------------------------|-------------------|--|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Thông số                          |                   |  |               |                 |                 |                 |                 |               |               |               |               |               |
| Sơ đồ bố trí                      |                   | Kiểu hình vuông                        | Kiểu tam giác | Kiểu hình vuông | Kiểu hình vuông | Kiểu hình vuông | Kiểu hình vuông | Kiểu đối xứng | Kiểu đối xứng | Kiểu đối xứng | Kiểu đối xứng | Kiểu đối xứng |
| Đường kính cọc D                  | M                 | 0,8                                    | 0,8           | 0,6             | 1               | 0,6             | 1               | 0,6           | 1             | 0,8           | 0,6           | 1             |
| Chiều dài cọc L                   | M                 | 9                                      | 8             | 10              | 7               | 13,6            | 4,9             | 10            | 7             | 8             | 14,2          | 5,1           |
| Khoảng cách cọc d1                | M                 | 1,4                                    | 1,8           | 1,8             | 1,8             | 1,8             | 1,8             | 0,6           | 1             | 0,8           | 0,6           | 1             |
| Khoảng cách cọc d2                | M                 | 2                                      | 1,8           | 2               | 2               | 2               | 2               | 2             | 2             | 2             | 2             | 2             |
| Bề rộng gia cố B                  | M                 | 14,6                                   | 14,6          | 14,6            | 14,6            | 14,6            | 14,6            | 14,6          | 14,6          | 14,6          | 14,6          | 14,6          |
| Chiều dài gia cố B                | M                 | 6                                      | 6             | 6               | 6               | 6               | 6               | 6             | 6             | 6             | 6             | 6             |
| Số lượng cọc gia cố n             | Cọc               | 24                                     | 23            | 24              | 24              | 24              | 24              | 24            | 24            | 24            | 24            | 24            |
| Tỉ lệ diện tích gia cố as         | %                 | 15,5                                   | 35,81         | 8,72            | 24,23           | 8,72            | 24,23           | 7,742         | 21,5          | 13,76         | 7,742         | 21,5          |
| Số lần tính toán                  | Lần               | 4                                      | 4             | 4               | 4               | 4               | 4               | 4             | 4             | 4             | 4             | 4             |
| Tỉ lệ nước/xi măng N/X            |                   | 0,4-0,6                                | 0,4-0,6       | 0,4-0,6         | 0,4-0,6         | 0,4-0,6         | 0,4-0,6         | 0,4-0,6       | 0,4-0,6       | 0,4-0,6       | 0,4-0,6       | 0,4-0,6       |
| Hàm lượng Xi măng                 | kg/m <sup>3</sup> | 300                                    | 300           | 300             | 300             | 300             | 300             | 300           | 300           | 300           | 300           | 300           |
| Sức kháng nén một trục nở hông qu | MPa               | 1                                      | 1             | 1               | 1               | 1               | 1               | 1             | 1             | 1             | 1             | 1             |

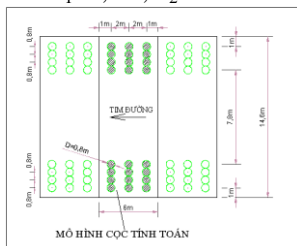
| Phương án                | Đơn vị            | P. Án theo công trình thi công thực tế | P. Án 1 | P. Án 2 | P. Án 3 | P. Án 4 | P. Án 5 | P. Án 6 | P. Án 7 | P. Án 8 | P. Án 9 | P. Án 10 |
|--------------------------|-------------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Thông số                 |                   |  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
| Mô đun tổng biến dạng Ec | MPa               | 150                                    | 150     | 150     | 150     | 150     | 150     | 150     | 150     | 150     | 150     | 150      |
| Dung trọng cọc yc        | kN/m <sup>3</sup> | 19                                     | 19      | 19      | 19      | 19      | 19      | 19      | 19      | 19      | 19      | 19       |
| Lực dính đơn vị cọc Cc   | MPa               | 0,25                                   | 0,25    | 0,25    | 0,25    | 0,25    | 0,25    | 0,25    | 0,25    | 0,25    | 0,25    | 0,25     |
| Góc nội ma sát φc        | Độ                | 30                                     | 30      | 30      | 30      | 30      | 30      | 30      | 30      | 30      | 30      | 30       |
| Hệ số poisson ν          |                   | 0,35                                   | 0,35    | 0,35    | 0,35    | 0,35    | 0,35    | 0,35    | 0,35    | 0,35    | 0,35    | 0,35     |
| Tải trọng tính toán      |                   | H30                                    | H30     | H30     | H30     | H30     | H30     | H30     | H30     | H30     | H30     | H30      |

### 3.3 Quy trình mô phỏng

- ❖ B1: Thiết lập mô hình.
- ❖ B2: Nhập các thông số địa chất, vật liệu.
- ❖ B3: Mô tả cắm cọc vào đất.
- ❖ B4: Đặt tải trọng.
- ❖ B5: Kiểm tra cổ kết sau 15 năm.
- ❖ B6: Output kết quả.

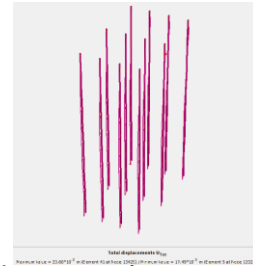
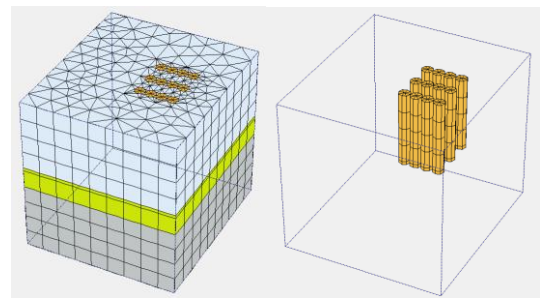
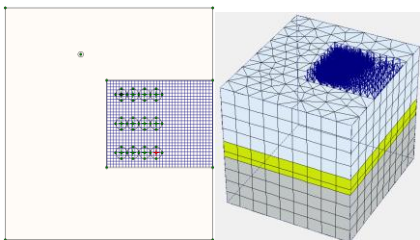
### 3.4. Kết quả mô phỏng

Chi tiết Phương án 7: Cách bố trí cọc theo dạng khối đối xứng qua tim đường. Gia cố nền đất yếu khu vực đường dẫn vào cầu bằng cọc xi măng đất với phương pháp Jet Grouting (phun ba) có đường kính D=1m với chiều sâu cọc L=7m và khoảng cách gia cố là  $d_1=1,8m, d_2=2m$ .

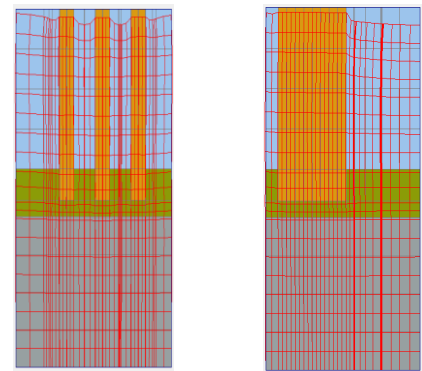


Hình 3.2. Cọc đất trộn xi măng bố trí hình khối đối xứng qua tim đường với đường kính D=0,8m, chiều sâu L=8m.

- Kết quả tính toán:



Hình 3.3. Chuyển vị lớn nhất cọc xi măng đất sau khi có kết 15 năm là 3,36cm, nhỏ nhất là 1,74cm.



Hình 3.4. Mặt cắt ngang và mặt cắt dọc cọc xi măng đất bố trí kiểu đối xứng qua tim đường.

Kết quả tính toán ứng suất-biến dạng nền công trình sau khi xử lý bằng cọc đất gia cố xi măng với phần mềm Plaxis 3D cho thấy: chỉ tiêu về độ lún của công trình tính toán là 1,74 – 3,36cm đều nhỏ hơn độ lún giới hạn cho phép (<10cm) (theo 22TCN262-2000 Quy trình khảo sát thiết kế nền đường đắp trên đất yếu).

Bảng 3.3. So sánh kết quả 11 phương án thiết kế cọc xi măng đất.

| Phương án          | Đơn vị | P. Án theo công trình thi công thực tế | P. Án 1         | P. Án 2         | P. Án 3         | P. Án 4         | P. Án 5         | P. Án 6         | P. Án 7         | P. Án 8         | P. Án 9         | P. Án 10        |
|--------------------|--------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Thông số           |        |  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Sơ đồ bố trí       |        | Kiểu hình vuông                        | Kiểu hình vuông | Kiểu hình vuông | Kiểu hình vuông | Kiểu hình vuông | Kiểu hình vuông | Kiểu hình vuông | Kiểu hình vuông | Kiểu hình vuông | Kiểu hình vuông | Kiểu hình vuông |
| Phương pháp gia cố |        | Phun đôi                               | Phun đôi        | Phun đơn        | Phun ba         | Phun đơn        | Phun ba         | Phun đơn        | Phun ba         | Phun đôi        | Phun đơn        | Phun ba         |
| Đường kính         | M      | 0,8                                    | 0,8             | 0,6             | 1               | 0,6             | 1               | 0,6             | 1               | 0,8             | 0,6             | 1               |

|                           |                |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |
|---------------------------|----------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| cọc D                     |                |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |
| Chiều dài cọc L           | M              | 9      | 8     | 10    | 7      | 13,6  | 4,9   | 10    | 7      | 8     | 14,2  | 5,1   |
| Khoảng cách cọc d1        | M              | 1,4    | 1,8   | 1,8   | 1,8    | 1,8   | 1,8   | 0,6   | 1      | 0,8   | 0,6   | 1     |
| Khoảng cách cọc d2        | M              | 2      | 1,8   | 2     | 2      | 2     | 2     | 2     | 2      | 2     | 2     | 2     |
| Bề rộng gia cố B          | M              | 14,6   | 14,6  | 14,6  | 14,6   | 14,6  | 14,6  | 14,6  | 14,6   | 14,6  | 14,6  | 14,6  |
| Chiều dài gia cố B        | M              | 6      | 6     | 6     | 6      | 6     | 6     | 6     | 6      | 6     | 6     | 6     |
| Số lượng cọc gia cố n     | C              | 24     | 23    | 24    | 24     | 24    | 24    | 24    | 24     | 24    | 24    | 24    |
| Tỉ lệ diện tích gia cố as | %              | 15,5   | 35,81 | 8,72  | 24,23  | 8,72  | 24,23 | 7,74  | 21,5   | 13,76 | 7,742 | 21,5  |
| Thể tích gia cố           | M <sup>3</sup> | 108,50 | 92,44 | 67,82 | 131,88 | 92,44 | 92,44 | 67,82 | 131,88 | 96,46 | 96,46 | 96,46 |
| Chuẩn vị cọc Min          | M              | 0,56   | 0,84  | 0,78  | 1,77   | 0,66  | 3,28  | 1,01  | 1,13   | 1,74  | 0,88  | 3,65  |
| Chuẩn vị cọc Max          | C              | 2,58   | 2,34  | 4,14  | 3,82   | 4,39  | 3,84  | 3,27  | 2,60   | 3,36  | 3,53  | 5,70  |

### 3.5. Tính toán độ lún nền đất yếu sau khi gia cố cọc xi măng đất bằng phương pháp giải tích

Bảng 3.4. Thông số cọc xi măng đất.

|   |                  |                   |            |
|---|------------------|-------------------|------------|
| Chiều dài cọc soilcrete                     | H <sub>r</sub>   | m                 | 7          |
| Đường kính cọc soilcrete                    | D                | m                 | 1          |
| Khoảng cách cọc soilcrete                   | S                | m                 | 1,8        |
| Kiểu bố trí                                 |                  |                   | Hình vuông |
| Tỉ số thay thế                              | as               |                   | 0,24       |
| Số cọc thiết kế trong phạm vi đáy nền đường | n                | cọc               | 8          |
| Hệ số an toàn                               | FS               |                   | 1,2        |
| Cường độ cọc soilcrete cần phải thiết kế    | q <sub>uyc</sub> | kN/m <sup>2</sup> | 267,45     |

Bảng 3.5. Sức chịu tải dưới nền đường.

|   |                  |                   |                          |
|---|------------------|-------------------|--------------------------|
| Sức chống cắt của đất yếu xác định từ thí nghiệm cắt cánh hiện trường | c <sub>uc</sub>  | kN/m <sup>2</sup> | 6,204                    |
| Cường độ xi măng đất ở tuổi 28 ngày với w/c=1/0.7                     | q <sub>us</sub>  | kN/m <sup>2</sup> | 500                      |
| Cường độ cọc soilcrete ở ngoài hiện trường                            | q <sub>utk</sub> | kN/m <sup>2</sup> | 250                      |
| Sức kháng cắt của xi măng đất   | c <sub>us</sub>  | kN/m <sup>2</sup> | 125                      |
| Sức chịu tải của nền gia cố   | c <sub>tb</sub>  | kN/m <sup>2</sup> | 34,99                    |
| Hệ số an toàn   | FS               |                   | 1,5                      |
| Tải trọng do khối đất đắp   | q <sub>e</sub>   | kN/m <sup>2</sup> | 54                       |
| Tải trọng do xe tác dụng lên nền đường                                | q <sub>s</sub>   | kN/m <sup>2</sup> | 15,66                    |
| Tải trọng tổng cộng do nền đường gây ra                               | q <sub>o</sub>   | kN/m <sup>2</sup> | 69,66                    |
| Khả năng chịu tải tối đa của nền đất sau gia cố                       | q <sub>ult</sub> | kN/m <sup>2</sup> | 126,3                    |
| Chiều cao đắp tối đa sau khi xử lý nền đất yếu                        | H <sub>max</sub> | m                 | 7,02                     |
| Kết luận  |                  |                   | Nền đủ khả năng chịu tải |

Bảng 3.6. Sức chịu tải của nền đất bên dưới vùng gia cố.

|   |                  |                   |   |
|---|------------------|-------------------|---|
| Khoảng cách từ mép cọc đến mép cọc                          | B <sub>r</sub>   | m                 | 13,6                                    |
| Góc ma sát của đất dưới mũi cọc từ thí nghiệm cắt trực tiếp | φ                | độ                | 12,3                                    |
| Lực dính của đất dưới mũi cọc từ thí nghiệm cắt trực tiếp   | c                | kN/m <sup>2</sup> | 11,4                                    |
| Hệ số khả năng chịu tải                                     | N <sub>c</sub>   |                   | 10,955                                  |
| Hệ số khả năng chịu tải                                     | N <sub>q</sub>   |                   | 3,392                                   |
| Hệ số khả năng chịu tải                                     | N <sub>γ</sub>   |                   | 0,907                                   |
| Hệ số an toàn   | FS               |                   | 3                                       |
| Tải trọng bản thân của đất tại mũi cọc                      | q                | kN/m <sup>2</sup> | 119,33                                  |
| Khả năng chịu tải tối đa của đất dưới mũi cọc               | q <sub>utk</sub> | kN/m <sup>2</sup> | 640,68                                  |
| Khả năng chịu tải của nền đất sau khi gia cố                | q <sub>all</sub> | kN/m <sup>2</sup> | 213,56                                  |
| Tải trọng tổng cộng do nền đường gây ra                     | q <sub>o</sub>   | kN/m <sup>2</sup> | 69,66                                   |
| Kết luận  |                  |                   | Đất dưới mũi cọc gia cố đủ sức chịu tải |

#### Nhận xét:

So sánh kết quả tính giải tích, mô hình tính toán bằng phần mềm Plaxis 3D, với gia cố nền đường bằng phương pháp Jet Grouting phương án đường kính cọc D=1m, chiều sâu gia cố

$L=7\text{m}$ , khoảng cách cọc  $d_1=1,8\text{m}$ ,  $d_2=2\text{m}$ , theo cách bố trí rải đều dạng lưới ô vuông ta kết luận như sau:

Độ lún cố kết sau 15 năm của nền đường đảm bảo không còn lún dư vượt quy định  $S=4\text{cm}<10\text{cm}$ , vậy đảm bảo độ lún cho phép.

Khả năng chịu tải của nền đất gia cố dưới nền đường lớn hơn tổng tải trọng phân bố tác dụng lên nền đường ( $q_{ult}=126,3(\text{kN/m}^2)>q_0=69,66(\text{kN/m}^2)$ ), vậy nền gia cố đủ sức chịu tải.

Khả năng chịu tải của nền đất bên dưới vùng gia cố (dưới mũi cọc) lớn hơn tổng tải trọng phân bố tác dụng lên nền đường ( $q_{ult}=213,56(\text{kN/m}^2)>q_0=69,66(\text{kN/m}^2)$ ), vậy nền đất bên dưới vùng gia cố đủ sức chịu tải.

Hệ số ổn định  $FS>1,4$ , vậy nền đất gia cố đạt độ ổn định tổng thể.

#### 4. Kết luận.

Từ kết quả so sánh giữa các phương pháp phân tích số liệu và mô phỏng phần tử hữu hạn ta rút ra các kết luận như sau:

Gia cố nền bằng cọc xi măng đất được thiết kế dựa trên nguyên lý nhóm các cọc đơn hay khối nền gia cố. Các thiết kế này đều được tạo ra từ các cọc đơn phụ thuộc đường kính cọc khoảng cách cọc và chiều sâu gia cố.

Công tác khảo sát địa chất phải chính xác. Chiều sâu khảo sát phải đủ để dự báo lún. Chiều dài cọc phải đảm bảo đất ở mũi cọc đủ khả năng chịu tải, độ lún, độ cố kết đất dưới mũi cọc đảm bảo yêu cầu 22TCN 262-2000. Cọc đi qua cung trượt để tăng hệ số ổn định FS khi kiểm toán trượt sâu.

Các thông số thiết kế cọc được chọn sơ bộ trước dựa trên kinh nghiệm của người thiết kế và các hướng dẫn thiết kế liên quan (quá trình thử và sai), sau đó được áp vào các kiểm tra cần thiết và thay đổi lại các thông số cho đến khi thỏa mãn kết quả kiểm toán.

Trong bài áp dụng các phương pháp phun đơn, phun đôi và phun ba. Quy trình công nghệ phun đôi áp dụng trong thực tiễn thuận lợi hơn, kích thước xử lý lớn, được sử dụng nhiều nhất, máy móc thiết bị phổ biến trên thị trường nước ta, mang lại hiệu quả kinh tế cao nhất.

Qua kết quả của 11 phương án mô phỏng bằng phần mềm Plaxis 3D và tính toán giải tích ta đánh giá giải pháp cọc xi măng đất theo công nghệ Nhật Bản trong gia cố nền đất yếu là một phương pháp hiệu quả trong việc ngăn chặn chuyển vị lún, đảm bảo khả năng chịu tải, ổn định tổng thể khối nền gia cố.

Tùy thuộc vào yêu cầu thiết kế và quy mô công trình, địa chất mà chọn lựa tối ưu đường kính cọc, số hàng cọc gia cố và cách bố trí cọc, công nghệ phun đơn, phun đôi, phun ba hay cánh trộn để đảm bảo hiệu quả về kinh tế - kỹ thuật.

#### 5. Kiến nghị

Từ các kết quả nghiên cứu tác giả đề ra một số kiến nghị sau khi thiết kế:

Phương pháp cọc xi măng đất là phương pháp hiệu quả và đã được áp dụng nhiều trên thế giới. So sánh hiệu quả kinh tế kỹ thuật với phương án này là tốt nhưng cũng cần thiết xem xét đến nhiều phương pháp khác như phương án cọc bê tông, cọc cát, gia tải trước kết hợp bấc thấm v.v...

Cần nghiên cứu sâu hơn với các điều kiện địa chất ở khu vực khác, xử lý các khu vực đất yếu hơn, sử dụng phần mềm khác để phân tích chuyển vị lún của nền. Từ đó có cơ sở so sánh và đánh giá kết quả các phương pháp, các phần mềm với nhau nhằm mục đích đề xuất cho người thiết kế chọn lựa mô hình tối ưu và phù hợp nhất.

Hướng nghiên cứu tới cần có kiểm chứng với số liệu quan trắc công trình thực tế để khẳng định phương pháp phần tử hữu hạn (phần mềm Plaxis) cho kết quả là tin cậy. Đề tài chỉ xét sức chịu tải, chuyển vị lún, độ ổn định tổng thể khi gia cố cọc xi măng đất, chưa xét đến chuyển vị ngang.

Cần nghiên cứu ứng xử của cọc xi măng đất ở một số khu vực khác ở nước ta để thu thập dữ liệu, phân tích ứng xử đất-xi măng nhằm xây dựng các cơ sở dữ liệu cần thiết cho việc nghiên cứu ứng dụng công nghệ Jet Grouting ở nước ta.

Nghiên cứu các ứng xử và phân tích mối tương quan giữa cường độ của cọc xi măng đất trong phòng và hiện trường, phương pháp mô phỏng qua đó xác định thông số phù hợp khi thiết kế.

Nghiên cứu giải pháp xác định đường kính cọc tin cậy dựa vào điều kiện địa chất, thiết bị để xác định được đường kính cọc hợp lý khi thiết kế.

Cần đưa ra giải pháp lựa chọn cấp phối hỗn hợp gia cường tối ưu nhất, mỗi loại cấp phối sẽ tương ứng với từng loại đất yếu khác nhau.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Trần Nguyễn Hoàng Hùng. *Công nghệ xói trộn vữa cao áp (Jet grouting)*. TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam: Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia TP. HCM, 2016, 368 trang.
- [2]. Bộ Xây Dựng. "Quy trình gia cố nền đất yếu - Phương pháp trụ đất xi măng." TCVN 9403:2012, 42 trang, 2012.
- [3]. M. Kitazume and M. Terashi. *The Deep mixing method*. UK: CRC Press: Balkema Book, 2013, 405 p.
- [4]. B.M. Das. *Principles of Geotechnical Engineering*. 7th Edition, Stamford: Cengage Learning, 2011, 794 p.

#### **Tác giả chịu trách nhiệm:**

**Họ tên: Lý Duyên Lộc.**

**Đơn vị: Phòng Kinh tế và Hạ tầng huyện**

**Kông Chro tỉnh Gia Lai.**

**Email: [locdaitingl@gmail.com](mailto:locdaitingl@gmail.com)**

#### **Xác nhận của Giảng viên hướng dẫn:**

# BÀI BÁO KHOA HỌC

THỰC HIỆN CÔNG BỐ THEO QUY CHẾ ĐÀO TẠO THẠC SĨ

Bài báo khoa học của học viên

có xác nhận và đề xuất cho đăng của Giảng viên hướng dẫn

---



Bản tiếng Việt ©, TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH và TÁC GIẢ

Bản quyền tác phẩm đã được bảo hộ bởi Luật xuất bản và Luật Sở hữu trí tuệ Việt Nam. Nghiêm cấm mọi hình thức xuất bản, sao chụp, phát tán nội dung khi chưa có sự đồng ý của tác giả và Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh.

**ĐỂ CÓ BÀI BÁO KHOA HỌC TỐT, CẦN CHUNG TAY BẢO VỆ TÁC QUYỀN!**

---

Thực hiện theo MTCL & KHTHMTCL Năm học 2018-2019 của Thư viện Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh.